# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Henri PELLAT

MAITRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS



PARIS

SOCIÉTÉ D'IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE ADMINISTRATIVES ET CLASSIQUES

Paul DUPONT, Éditeur

4, RUE DU BOULOI, 4

—

1891

# TABLE DES MATIÈRES

## RECHERCHES EXPÉRIMENTALES.



## RECHERCHES THÉORIQUES.

## APPAREILS.



## OUVRAGES.

# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE


## M. Henri PELLAT

MAITRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS


---

1871. Élève de l'École normale supérieure.
1873. Licencié ès Sciences mathématiques; Licencié ès Sciences physiques.
1874. Agrégé des Sciences physiques et naturelles.
1874. Physicien adjoint à l'Observatoire de Paris.
1876. Professeur au collège Rollin.
1880. Professeur au lycée Louis-le-Grand.
1880. Professeur à la Maison d'éducation de la Légion d'Honneur de Saint-Denis.
1881. Docteur ès Sciences physiques.
1881. Membre de la Chancellerie du Congrès international des Électriciens.
1881. Membre du Jury de l'Exposition d'Électricité.
1884. Chevalier de la Légion d'Honneur.
1885. Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris.
1886. Président de la Société Philomathique.
1890. Officier de l'Instruction publique.
1891. Secrétaire général de la Société française de Physique.

---

# ANALYSE DES TRAVAUX DE PHYSIQUE

## RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

### Action de la lumière sur les piles.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. LXXXIX, p. 227; 1879.)

Ce travail est une contribution à l'étude des phénomènes photo-électriques découverts par M. Becquerel. La lumière solaire tombant sur l'électrode en cuivre d'une pile de Daniell ne produit aucun changement dans la force électromotrice si le cuivre est net; il y a, au contraire, diminution de $\frac{1}{50}$ de la valeur de la force électromotrice si le cuivre est couvert de vert-de-gris par un long séjour dans le sulfate de cuivre, et augmentation de la force électromotrice si le cuivre a été préalablement oxydé dans la flamme d'un bec de Bunsen. C'est la surface de contact du cuivre altéré et du sulfate qui seule est sensible. Les variations de force électromotrice suivent immédiatement les variations d'éclairement. Ce sont les rayons les plus réfrangibles du spectre qui sont actifs.

### Sur la polarisation des piles à un liquide.

(*Bulletin de la Société Philomathique*, 7e série, t. V, p. 36; 1880.)

Les résultats de ce travail sont les suivants:

Une pile type Volta, étant polarisée par la fermeture du circuit, se dépolarise spontanément quand le circuit est ouvert, c'est-à-dire que sa force électromotrice E augmente et tend, rapidement d'abord, plus lentement ensuite, vers sa force électromotrice normale $E_0$.

La loi de la variation de la force électromotrice E avec le temps $t$ est bien représentée par la formule exponentielle :

$$E = E_0 - me^{-at}$$

dans laquelle $m$ et $a$ sont deux constantes.

On en déduit pour la vitesse de dépolarisation $\left(\frac{dE}{dt}\right)$

$$\frac{dE}{dt} = ame^{-at} = a(E_0 - E)$$

c'est-à-dire que *la vitesse de dépolarisation est proportionnelle à l'écart entre la force électromotrice normale* ($E_0$) *et la force électromotrice actuelle* (E).

La polarisation de l'élément est d'autant plus rapide et va d'autant plus loin que la *densité du courant* à l'électrode de sortie (cathode) est plus considérable, c'est-à-dire que cette électrode est de plus faible surface et que la résistance du circuit est moindre. Avec une cathode formée d'un simple fil de cuivre, la chute de force électromotrice depuis la valeur normale (1 volt environ) jusqu'à la valeur finale ($0^v$,19 avec eau acidulée, presque nulle avec le sulfate de zinc) a lieu dans un temps inappréciable après la fermeture de l'élément sur lui-même. Avec une cathode de large surface, ou une grande résistance extérieure, la polarisation met un temps appréciable à se produire, et la force électromotrice limite est moins basse.

Ces résultats s'expliquent aisément si l'on considère que la polarisation limite est atteinte quand la vitesse de polarisation, qui dépend surtout de la densité du courant, est égale à la vitesse de dépolarisation, qui dépend de l'écart $E_0 - E$, d'après la loi précédente.

Comme conséquence pratique de ce qui précède, la force électromotrice d'un élément polarisable devenant rapidement une fonction de l'intensité du courant qui le traverse, il en est de même de la différence de potentiel aux pôles ; cette dernière fonction peut être déterminée sans peine par l'expérience; la détermination étant faite, on peut connaître facilement à l'avance par une construction graphique l'intensité du courant permanent fourni par un ou plusieurs éléments groupés en tension ou en quantité sur une résistance extérieure connue.

**Différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact.**

(*Thèse de doctorat soutenue à la Sorbonne en juin 1881.* — *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXIV, p. 5. — *Journ. de Phys.*, 1re série, t. X, p. 58; 1881.)

Grâce à une méthode nouvelle (méthode de réduction à zéro), j'ai pu déterminer avec beaucoup de précision la différence de potentiel qui existe entre les couches électriques qui recouvrent les surfaces de deux métaux au contact, c'est-à-dire ce que j'ai appelé la *différence de potentiel apparente* de ces métaux. Cette grandeur, parfaitement définie, ne peut dépendre *a priori* que de la nature chimique ainsi que de l'état physique des métaux et du milieu isolant qui les entoure.

Cette étude m'a conduit aux résultats suivants :

1° Deux métaux différents réunis métalliquement sont recouverts, dans l'état d'équilibre, de couches électriques à des potentiels inégaux ;

2° La différence de potentiel apparente ne dépend que de la couche la plus superficielle du métal.

Elle change notablement quand la surface est écrouïe par un traitement mécanique ; la surface écrouïe devient plus positive.

L'écrouissage superficiel diminuant spontanément et disparaissant avec le temps, la différence de potentiel apparente revient à sa première valeur.

Elle est indépendante de l'état de poli ou de dépoli de la surface.

Des traces de matières étrangères formant une couche d'épaisseur assez faible pour être invisible (inférieure par conséquent à une longueur d'onde lumineuse) suffisent pour modifier profondément sa valeur. Ces expériences montrent que l'action de la matière sur l'électricité ne s'exerce qu'à une distance inférieure à une longueur d'onde lumineuse.

3° La différence de potentiel apparente dépend de la température, la partie chaude et la partie froide d'un même métal se comportant comme deux métaux différents.

4° La pression ou la nature du gaz entourant les métaux a une influence très nette, mais excessivement faible, sur la valeur de la différence de potentiel apparente.

Ces variations de différence de potentiel sont toujours *en retard* sur les variations de la pression ou de la nature du gaz qui les provoquent; elles n'en sont qu'une conséquence indirecte, due à une légère modification éprouvée par les surfaces métalliques. La valeur de la différence do potentiel apparente paraît être en réalité indépendante du diélectrique gazeux.

5° La différence de potentiel entre les couches électriques qui recouvrent deux métaux réunis métalliquement a la même valeur que la force électromotrice d'un élément de pile à un liquide formé par ces deux métaux, pourvu que la force électromotrice soit déterminée avant toute altération des surfaces baignées par le liquide; ces altérations, qui se produisent en quelques secondes, font varier la force électromotrice de la pile suivant la nature du liquide interposé entre les métaux.

Dans ces recherches, j'ai employé une méthode nouvelle pour la mesure relative des forces électromotrices des piles. On oppose à la pile une force électromotrice variable à volonté et constamment connue, prise sur un courant, et l'on constate l'égalité au moyen de l'électromètre capillaire de M. Lippmann. On évite ainsi complètement la polarisation de l'élément, ce qui n'a pas lieu avec les galvanomètres. Plus ou moins modifiée, cette méthode est constamment employée aujourd'hui.

### Influence d'un métal sur la nature de la surface d'un autre métal placé à petite distance.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. XCIV, p. 1247; 1882. — *Journ. de Phys.*, 2ᵉ série, t. I, p. 416; 1882.)

Au cours des recherches précédentes, j'ai reconnu l'existence d'un phénomène curieux: une surface métallique A étant placée très près d'une autre surface métallique parallèle B, mais non au contact, modifie la nature chimique de la surface de B, ce qui était révélé par la variation de la différence de potentiel apparente entre le métal B ainsi modifié et un autre métal non modifié.

Presque tous les métaux à des degrés divers se sont montrés capables de modifier par leur présence la nature de la surface d'un métal voisin: le plomb et le fer sont les plus actifs; le zinc seul parmi les métaux étudiés n'a produit aucun effet appréciable.

J'ai constaté depuis que l'acier et le plomb placés à une très petite distance d'une plaque photographique au gélatino-bromure dans une obscurité absolue impressionne la plaque de façon à donner une image au moment où on révèle celle-ci par les procédés ordinaires (Travail inédit et encore à l'étude).

**Différence de potentiel vraie de deux métaux au contact.**

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CIV, p. 1099; 1887. — *Journ. de Phys*, 2e série, t. V, p. 195; 1888.)

Les méthodes employées par Volta et par ses successeurs pour montrer ou mesurer les différences de potentiel de deux métaux au contact ne donnent que cette différence augmentée des différences de potentiels qui peuvent exister entre l'air entourant les métaux et ces métaux mêmes, et l'on pouvait, à la rigueur, attribuer à ces dernières quantités la totalité de l'effet observé.

J'ai pu, pour la première fois en 1887, démontrer que deux métaux mis au contact présentent bien réellement une *différence de potentiel de l'ordre de grandeur du Volt*, ayant trouvé pour cette *différence de potentiel vraie* entre le mercure et l'amalgame de zinc le nombre 0v,49. La méthode que j'ai employée pour cela est fondée sur les phénomènes électro-capillaires.

Cette étude a été complétée par les deux mémoires suivants.

**Sur la différence de potentiel d'un métal et d'un sel du même métal au contact.**

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CVIII, p. 667; 1889. — *Ann. de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIX, p. 560. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IX, p. 403; 1890.)

En faisant écouler en gouttelettes des amalgames liquides de différents métaux, assez riches en métal allié au mercure pour se comporter dans une pile comme le métal solide lui-même, au milieu d'une dissolution d'un sel de ce métal, j'ai constaté qu'il n'existait aucune différence de potentiel entre l'amalgame qui s'écoule et celui qui s'est écoulé et qui est immobile au fond du vase à écoulement. Il n'en est plus de même quand l'écoulement a lieu dans une dissolution d'un sel d'un autre métal que celui qui entre dans l'amalgame. Ces expériences conduisent à la loi suivante :

*La différence de potentiel normale entre un métal et une dissolution d'un de ses sels en contact avec lui est nulle.*

Le mémoire des *Annales* ou du *Journal de Physique* prévoit et réfute quelques objections qu'on pourrait faire à la légitimité de cette conclusion.

On peut déduire de cette loi, par la considération de ce qui a lieu dans une pile du type Daniell, la loi suivante :

*La somme de la différence de potentiel des dissolutions de deux sels de même acide et de métaux différents au contact, et de la différence de poten-*

*tiel de ces métaux mis au contact est proportionnelle à la quantité de chaleur dégagée par la substitution d'un des métaux à l'autre dans le sel de l'acide considéré.*

On peut voir par là comment la théorie de la pile dite *du contact* s'accorde avec la théorie dite *chimique,* sans qu'on soit obligé de supposer que la grande différence de potentiel a pour siège le contact du métal attaqué et du liquide électrolytique, ce qui est inexact.

### Sur la limite entre la polarisation et l'électrolyse.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences,* t. CVIII, p. 1238; 1889. — *Ann. de Chimie et de Physique,* 6e série, t. XIX, p. 566.— *Journ. de Phys.,* 2e série, t. IX, p. 407; 1890).

Quand on polarise une cathode, la différence de potentiel entre cette électrode et le liquide qui la baigne diminue. Si la force électromotrice E de la source qui sert à produire cette polarisation est faible, les électrodes polarisées et le liquide électrolytique forment une pile secondaire dont la force électromotrice fait équilibre à celle qui produit la polarisation. Mais si la force électromotrice de la source E dépasse une certaine valeur, la polarisation de la cathode ne pouvant dépasser un certain maximum, l'électrolyse se produit.

A partir de quel moment a lieu ce changement quand on emploie une anode impolarisable? L'étude de cette question m'a conduit à la loi suivante :

*L'électrolyse commence à partir du moment où (par polarisation) on a rendu égal le potentiel de la cathode et celui du liquide électrolytique.*

Les deux méthodes, indépendantes l'une de l'autre, qui m'ont servi à établir cette loi, ne peuvent convenir que dans le cas où l'électrolyte est un acide; mais il est bien probable que la loi est également vraie dans le cas où l'électrolyte est un sel. En effet, en l'admettant dans ce cas, et en m'appuyant sur la loi du mémoire précédent, j'ai pu déterminer la différence de potentiel vraie entre le mercure et le zinc au contact, et j'ai trouvé ainsi le nombre $0^v,51$ identique, aux erreurs d'expérience près, au nombre $0^v,49$ que j'avais obtenu précédemment par une tout autre méthode.

Il y a là une méthode générale pour déterminer la différence de potentiel vraie entre le mercure et un autre métal au contact, et par conséquent entre les divers métaux au contact, en appliquant la loi de Volta. Ainsi, j'ai trouvé qu'entre le mercure et le potassium la différence de potentiel

vraie est $1^v,47$; par conséquent, entre le potassium et le zinc la différence est $1^v,47 - 0^v,51 = 0^v,96$.

La loi énoncée dans ce mémoire étant admise pour les sels, la loi énoncée dans le mémoire précédent et la loi de M. Lippmann, sur l'impossibilité de polariser un métal comme cathode dans une dissolution d'un de ses sels, se déduisent l'une de l'autre.

### Force électromotrice de combustion.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. C, p. 735; 1885. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IV, p. 254; 1885.)

Comme on se sert dans les électromètres portatifs d'un corps en combustion pour prendre le potentiel d'un point de l'atmosphère, j'ai cherché si aucune différence de potentiel entre le support du corps combustible et le milieu ambiant n'était produite par le fait même de la combustion. En faisant brûler du gaz d'éclairage ou de l'hydrogène à l'extrémité de becs de divers métaux placés à l'intérieur de longs cylindres en métal (*inducteurs*), j'ai reconnu que ce système était comparable à une pile à faible débit, dont le bec et l'inducteur seraient les électroïdes, présentant une force électromotrice parfaitement déterminée, bien constante, de l'ordre de grandeur du volt.

J'ai reconnu aussi que le procédé des mèches en papier imprégné d'azote de plomb, dont on se sert pour les électromètres portatifs, peut donner lieu à des erreurs considérables. Au contraire, un petit bec de gaz brûlant en veilleuse se met presque instantanément au potentiel du milieu ambiant, ou du moins à un potentiel qui n'en diffère que d'une quantité faible et constante.

La disposition expérimentale qui m'a servi dans ces expériences m'a montré, en outre, que les appareils à écoulement d'eau employés pour prendre le potentiel de l'air ne se mettent qu'assez lentement en équilibre de potentiel avec l'atmosphère (5 à 10 minutes par exemple).

### Détermination du rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CIII, p. 1189. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. X, p. 389; 1891.)

En 1887, à l'époque où j'ai commencé ce travail, il n'existait pour le

rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité que des nombres ne présentant pas entre eux un accord supérieur à $\frac{1}{50}$ ; c'était insuffisant pour une grandeur de première importance. Je pensai que la mesure d'une même différence de potentiel en unités électromagnétiques au moyen de l'électrodynamomètre absolu, que je venais de faire construire, et en unités électrostatiques au moyen de l'électromètre absolu de Sir W. Thomson permettrait d'atteindre une précision bien plus grande.

Le nombre $300{,}9 \times 10^8$ que j'ai trouvé ainsi, par un travail qui a duré plusieurs années, s'accorde bien avec les nombres qui ont été publiés par différents auteurs entre 1887 et 1891. Il ne diffère que de $\frac{1}{500}$ du nombre donné par M. Cornu pour la vitesse de la lumière dans l'air ($300{,}3 \times 10^8$).

### Détermination de l'équivalent électrochimique de l'argent.

(En commun avec M. Potier.)

(*Bulletin des séances de la Société de Physique*, 1889. — *Journ. de Phys.*, 2ᵉ série, t. IX, p. 381; 1890.)

L'électrodynamomètre absolu décrit plus loin permet de rapporter avec une grande précision l'intensité d'un courant à l'unité théorique (C.G.S). Nous nous sommes proposé, M. Potier et moi, de déterminer avec cet appareil la masse d'argent déposée, par seconde, dans un courant d'intensité électromagnétique connu. La moyenne de deux expériences faites avec soin a donné $1^{mgr},1192$ d'argent déposé par un ampère en une seconde. Les nombres obtenus précédemment par Kohlrausch, lord Rayleigh et M. Mascart sont respectivement 1,1183, 1,118 et 1,1156.

### Décharge d'un condensateur à travers une grande résistance.

(*Journal de Physique*, 1ʳᵉ série, t. X, 358; 1881.)

En admettant que la loi d'Ohm est applicable à la décharge d'un condensateur, c'est-à-dire qu'à chaque instant le courant a pour intensité le quotient de la différence de potentiel des armatures par la résistance R qui réunit les armatures, on arrive aisément à la formule suivante, si la résistance n'a pas de self-induction :

$$Q = V_0 C \left( 1 - e^{-\frac{T}{CR}} \right)$$

dans laquelle Q représente la quantité d'électricité écoulée pendant le

temps T, $V_0$ la différence de potentiel initiale des armatures et C la capacité du condensateur.

Je me suis proposé de vérifier l'exactitude de cette relation. Pour cela, à l'aide d'un trembleur rapide, un condensateur ($\frac{1}{3}$ de microfarad) était chargé à travers une résistance négligeable et déchargé à travers un galvanomètre et une résistance sans self-induction variable à volonté, pendant un temps toujours le même ($\frac{1}{500}$ de seconde environ). Le galvanomètre fournissait la quantité Q.

J'ai trouvé ainsi que Q diminuait quand la résistance R augmentait et exactement comme l'indique la formule.

### Énergie des courants téléphoniques. — Énergie sonore.

(*Journal de Physique*, 1re série, t. X, p. 358; 1881.)

En déchargeant un grand nombre de fois (100 fois environ) un condensateur à travers un téléphone au moyen du dispositif qui avait servi aux précédentes expériences, et en diminuant assez la résistance du circuit pour que la décharge pût être considérée comme complète, je pouvais faire chanter ce téléphone et connaître l'énergie électrique nécessaire à la production du chant. La force électromotrice employée pour la charge du condensateur était prise sur un fil traversé par un courant constant et pouvait par conséquent varier à volonté. En diminuant celle-ci jusqu'à ce que le son du téléphone ne fût plus perçu par l'oreille, j'obtenais une limite à laquelle était inférieure la plus petite énergie sonore perceptible.

J'ai trouvé ainsi une limite extraordinairement petite. Pour en donner une idée, l'énergie correspondant à une petite calorie lancée convenablement dans un téléphone pourrait entretenir un son nettement perceptible pendant 10 000 ans. On peut juger par là de l'extrême délicatesse de l'oreille.

### De la couleur verte du dernier rayon solaire.

(*Bulletin de la Société Philomathique*, 7e série, t. XII, p. 22; 1887.)

De nombreux observateurs ont signalé la teinte verte que possède le dernier rayon envoyé par le Soleil quand cet astre se couche au-dessus de

la mer. Quelques personnes ont pensé que la couleur verte de l'eau n'était pas étrangère à ce phénomène.

Ce qui ôte tout crédit à cette opinion, c'est que le phénomène du *rayon vert* se produit quand le Soleil se couche derrière un horizon quelconque. Je l'ai souvent observé à Paris d'une fenêtre située au couchant d'où l'on découvre une vaste étendue.

Quand le Soleil sur son déclin prend une couleur jaune d'or ou orangé, mais non rouge ou blanchâtre, le bord supérieur de l'astre est bordé d'une mince bande verte, le bord inférieur d'une mince bande rouge. Ces bandes vont en s'élargissant à mesure que le soleil s'abaisse. Au moment du coucher, lorsque le disque est presque complètement caché derrière les maisons lointaines, la bordure verte apparaît seule pendant une fraction de seconde : le dernier rayon que reçoit l'œil est ainsi d'un vert émeraude magnifique.

Je me suis assuré que le phénomène n'était pas dû à un contraste de couleurs ou à des couleurs consécutives. L'explication du phénomène est fort simple d'ailleurs; il est dû à la dispersion atmosphérique : l'atmosphère agit comme un prisme qui donne une série d'images du Soleil dans les diverses couleurs du spectre. Ces images se superposent en grande partie; s'il n'y avait pas d'absorption atmosphérique, le bord supérieur de l'astre à son coucher serait bordé de teintes allant du violet au blanc en passant par le bleu et le vert, mais à cause de l'absorption des rayons violet et bleu, témoignée par la couleur jaune ou orangée que prend alors le disque solaire, les rayons les plus réfrangibles de cette bordure irisée sont absorbés et il ne reste que le vert.

Ce phénomène présente l'intérêt de mettre en évidence le pouvoir dispersif des gaz de l'atmosphère.

---

# RECHERCHES THÉORIQUES

**Sur la transformation que subissent les formules de Cauchy relatives à la réflexion de la lumière à la surface d'un corps transparent quand on suppose une épaisseur sensible à la couche de transition.**

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. LXXXVI, p. 1325; 1878.)

Fresnel et Cauchy, en établissant les formules relatives à la réflexion vitreuse, ont supposé que l'éther varie brusquement de propriété à la surface de séparation des deux milieux transparents. En réalité, le changement de propriétés doit être graduel. J'ai examiné comment les formules qui donnent la proportion de lumière réfléchie et réfractée se trouvent modifiées quand on tient compte de ce changement graduel dans les propriétés, en me bornant au cas simple où les vibrations sont perpendiculaires au plan d'incidence. Je suis arrivé aux formules suivantes

$$C_1 = -\,C\,\frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}\left[1 - \left(\frac{\varepsilon}{\lambda_1}\right)^2 \frac{\pi^2}{3}\,\frac{2\,\sin\alpha_1\cos\alpha_1\cos\alpha_2}{\sin\alpha_2}\right]$$

$$C' = \quad C\,\frac{2\cos\alpha_1\,\sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}\left[1 + \left(\frac{\varepsilon}{\lambda_1}\right)^2 \frac{\pi^2}{6}\,\frac{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin^2\alpha_2}\right]$$

où C, $C_1$, C′ représentant les amplitudes de la vibration incidente, réfléchie et réfractée, $\alpha_1$ et $\alpha_2$ les angles d'incidence et de réfraction, $\varepsilon$ l'épaisseur de la couche où les propriétés de l'éther sont variables (*couche de transition*), cette épaisseur étant définie rigoureusement, et $\lambda_1$ la longueur d'onde dans le premier milieu.

Ces formules se réduisent à celles de Fresnel ou de Cauchy, en y faisant $\varepsilon = 0$; elles satisfont au principe de la conservation de l'énergie, sur lequel je ne me suis pas appuyé pour les établir.

Elles montrent que si l'épaisseur $\varepsilon$ de la couche de transition était une fraction notable de la longueur d'onde $\lambda_1$, la lumière blanche à l'incidence deviendrait colorée par réflexion.

A l'aide de l'appareil pour opérer la synthèse des couleurs composées, que j'ai imaginé à cette occasion et dont il est question plus loin, j'ai réalisé les teintes qui seraient obtenues par réflexion pour des valeurs de plus en plus faibles de $\left(\frac{\varepsilon}{\lambda_1}\right)$ d'après la formule ci-dessus. A partir de $\frac{\varepsilon}{\lambda_1} = \frac{1}{16}$ la teinte réfléchie ne diffère pas sensiblement du blanc, mais elle en diffère pour des valeurs plus considérables. Il faut en conclure que l'épaisseur de la couche de transition est inférieure à $\frac{1}{16}$ de longueur d'onde.

### Remarques sur la chaleur spécifique des vapeurs.

(*Journ. de Phys.*, 1re série, t. VII, p. 117 ; 1878).

Dans ce petit mémoire, je montre que la chaleur spécifique sous pression constante d'une vapeur doit dépendre de la pression, tandis que, d'après les expériences de Regnault, la chaleur spécifique serait indépendante de la pression pour les gaz loin de leur point de liquéfaction.

Je montre ensuite que la détermination de la chaleur spécifique à pression constante et celle du volume spécifique d'une vapeur en fonction de la température et de la pression, déterminations qui ne paraissent pas devoir offrir de grandes difficultés, suffiraient pour avoir toutes les données nécessaires à l'étude thermique des vapeurs.

### Applications du principe de Carnot aux réactions eudothermiques.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CVII, p. 34; 1888. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. VII, p. 279; 1888. — *Bulletin de la Soc. Philomathique*, 7e, t. XII, p. 98; 1888.)

M. Potier, en appliquant aux actions chimiques l'inégalité de Clausius $\left(\int \frac{dq}{T} < 0\right)$, a montré qu'une réaction endothermique n'est possible que si la température des corps réagissants est supérieure à celle où la réaction devient réversible (température de dissociation ou d'antidissociation).

M. Potier suppose, du reste, que la température des corps réagissants est la même que celle des sources qui fournissent la chaleur.

J'ai distingué la température $t$ des corps qui donnent lieu à la réaction endothermique de la température T de la source A qui fournit, sous forme de chaleur par rayonnement ou par conductibilité, toute l'énergie nécessaire à cette réaction. T ne peut pas être inférieur à $t$, mais il peut lui être

supérieur, et même très supérieur si la source A agit par rayonnement. En faisant cette distinction, le principe de Carnot m'a conduit à une loi analogue à celle de M. Potier, mais plus générale.

Désignons par $T_1$ la plus basse température à laquelle la réaction inverse se produit spontanément, par exemple la température à laquelle il faut porter le chlorure d'azote pour le faire détoner si la réaction endothermique est la formation du chlorure d'azote, ou celle à laquelle le mélange d'oxygène et d'hydrogène fait explosion si la réaction endothermique est la décomposition de l'eau. La loi est la suivante :

1° *La température* T *de la source* A *ne peut être inférieure à* $T_1$.

2° *Si la température* t *des corps réagissants est inférieure à* $T_1$, *la température* T *de la source* A *doit être d'autant plus élevée au-dessus de* $T_1$ *que la réaction considérée est plus fortement endothermique.*

Dans la plupart des expériences de laboratoire, la source calorifique est constituée par les parois des vases qui renferment les substances réagissantes ; la température de la source est donc très voisine de celle des corps qui entrent en réaction. Dans ce cas, qui est celui où s'est placé M. Potier, la loi qui vient d'être énoncée indique que la température du corps doit être supérieure à $T_1$, pour que la réaction endothermique se produise, et, par conséquent, que la réaction doit être limitée par la réaction inverse : la température doit être supérieure à celle de la dissociation (ou de l'antidissociation). On retrouve ainsi la loi de M. Potier comme cas particulier de la loi énoncée ci-dessus.

Cela nous montre l'impossibilité d'effectuer des réactions endothermiques dans des vases opaques aux basses températures ($< T_1$). Mais cette impossibilité n'existe plus si l'on fait agir par rayonnement une source à une température élevée, ce qu'on exprime habituellement en disant que c'est la *lumière* qui a accompli la réaction. Ainsi l'acide carbonique de l'air est décomposé à la température ordinaire par les parties vertes des végétaux, et le carbone s'unit aux éléments de l'eau ; c'est là une réaction fortement endothermique ; aussi n'est-elle possible que par le rayonnement d'une source à température élevée : le Soleil habituellement. La loi énoncée permet d'affirmer (si toutefois le principe de Carnot reste exact pour les transformations accomplies chez les êtres vivants) que l'action chlorophyllienne ne peut avoir lieu que sous l'influence d'une source à température notablement plus élevée que celle où les produits végétaux commencent à prendre feu.

Plus la température d'une source ost élévée, plus son spectre s'étend loin du côté de l'ultra-violet. Sans prétendre expliquer complètement par le principe de Carnot l'efficacité bien connue des réactions très réfrangibles pour effectuer certaines combinaisons ou décompositions, je ferai remarquer pourtant que quelques réactions endothermiques pourront être effectuées par des radiations trés réfrangibles, tandis qu'elles ne pourront pas l'être, d'aprés la loi, par des radiations moins réfrangibles, parce que celles-ci peuvent être émises par des sources à température trop basse.

Il est remarquable de voir que la chlorophylle ne présente aucune bande d'absorption dans l'infra-rouge ni même dans le rouge, et par conséquent qu'une source à la température du rouge sombre ou au-dessous ne peut pas produire l'action chlorophyllienne, ce qui est pleinement d'accord avoc la loi déduite du principe de Carnot.

**De la mesure de la force électromotrice de contact des métaux par le phénomène Peltier.**

(*Journ. de Phys.*, 1re série, t. IX, p. 122; 1880.)

Je montre que l'on ne saurait déduire du phénomène Peltier la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact. (Dans cet article, j'ai employé comme synonymes les expressions « force électromotrice de contact » et « différence de potentiel au contact » suivant l'usage de cette époque, mais toujours dans le sens que j'attache aujourd'hui à cette derniére expression et qui est indiqué dans l'article suivant.)

**Distinction entre la force électromotrice et la différence de potentiel au contact.**

(*Ann. de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIX, p. 556.— *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IX, p. 401; 1890.)

Je fais remarquer que, si l'on veut rester fidèle aux définitions générales de la *force électromotrice* (énergie communiquée à l'unité d'électricité) et *du potentiel* $\left(\Sigma\frac{m}{r}\right)$, on doit distinguer la force électromotrice au contact de deux corps de la différence de potentiel qu'ils présentent. Ces deux grandeurs ont souvent été confondues, et il en est résulté parfois que deux auteurs dont les vues étaient également justes semblaient différer d'opinion. Ce qui a pu entraîner cette confusion, c'est que la somme des forces électromotrices aux divers contacts d'un élément de pile est égale à la somme des

différences de potentiel à ces mêmes contacts ; mais pour un contact particulier, les deux grandeurs peuvent être très différentes, comme je le montre par des exemples : c'est ainsi qu'au contact de deux métaux la force électromotrice qui se mesure par l'effet Peltier, est presque nulle (de l'ordre des millièmes ou des centièmes de volt), tandis que, comme je l'ai indiqué plus haut, la différence de potentiel de deux métaux peut atteindre et dépasser un volt.

**Renversement des raies spectrales. — Méthode pour déterminer la température du Soleil.**

(*Bulletin de la Soc. Philomathique*, 7e série, t. XI; 1887.)

Une tranche gazeuse incandescente d'épaisseur $dx$, étant traversée normalement par un faisceau lumineux ayant l'unité de section, absorbe une portion d'une lumière simple de ce faisceau qui peut être représentée par $\mathrm{AD}idx$, D étant la densité du gaz, $i$ l'intensité de la radiation incidente considérée et A un coefficient que j'appelle le *pouvoir absorbant spécifique*.

D'autre part, cette tranche émet par unité de section une quantité de la lumière simple à laquelle se rapporte A, qui peut être représentée par $\mathrm{EDT}^4 dx$, T étant la température absolue et E un coefficient, qui peut dépendre de la température, et que j'appelle le *pouvoir émissif spécifique*.

Si la tranche a une épaisseur finie $x$ et reçoit une lumière simple d'intensité $i_0$, on trouve aisément que l'intensité de cette lumière à l'émergence est représentée par :

$$i = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}\mathrm{T}^4 + \left(i_0 - \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}\mathrm{T}^4\right)e^{-\mathrm{AD}x}$$

La considération de l'équilibre mobile des températures montre que le rapport $\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}$ du pouvoir émissif spécifique au pouvoir absorbant spécifique est une quantité qui ne dépend pas de la nature du gaz considéré. Il devient bien vraisemblable alors que cette quantité $\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}$ est, pour un même gaz, indépendante de la radiation considérée. Or, si la tranche a une épaisseur infinie, la formule ci-dessus montre que l'on a $i = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}\mathrm{T}^4$; par conséquent, si $\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}$ est indépendant de la nature de la radiation, on aura la même inten-

sité $\iota$ pour toutes les radiations; c'est-à-dire que le spectre d'une source gazeuse d'épaisseur infinie serait continu comme celui d'un corps solide, les raies caractéristiques ayant disparu. C'est bien ce que quelques auteurs ont cru pouvoir avancer d'après leurs expériences sur l'élargissement des raies spectrales.

Il résulte encore de la formule qu'une tranche gazeuse d'épaisseur finie, étant éclairée par de la lumière blanche, donnera à l'émergence un faisceau lumineux qui présentera les raies caractéristiques du gaz en brillant sur fond sombre ou en sombre sur fond brillant, suivant que l'intensité de la lumière blanche incidente est inférieure ou supérieure à l'intensité lumineuse que donnerait la tranche gazeuse si son épaisseur était infinie. En faisant varier l'intensité de la lumière incidente de façon que le faisceau émergeant ne présente ni en sombre ni en brillant les raies caractéristiques, celle-ci est égale à l'intensité $\left(\frac{E}{A}T^4\right)$ qu'émettrait la tranche gazeuse si son épaisseur était infinie. La mesure de la variation de $\frac{E}{A}$ avec la température est ainsi ramenée à une mesure ordinaire de photométrie.

En admettant, comme cela paraît probable, que la partie éclairante du Soleil est formée principalement par des gaz incandescents (la faible densité de cet astre exclut l'idée d'une masse solide ou liquide continue), on peut, d'après ce qui précède, arriver à connaître la température du Soleil. Celle-ci est égale à la température d'une flamme qu'on rendrait assez chaude pour que les raies caractéristiques du gaz qui constitue la flamme n'apparaissent plus en sombre sur fond brillant dans la lumière émergente, quand la lumière incidente est un faisceau de rayons solaires.

Si l'on ne peut pratiquement élever assez la température de la flamme pour arriver à ce résultat, un procédé un peu moins direct, qui est développé dans le mémoire, permet aussi d'arriver au même but.

### Remarque au sujet des couches électriques doubles.

(*Journ. de Phys.* 2e série, t. II, p. 116, 1883.)

Pour expliquer la différence de potentiel de deux corps conducteurs de nature différente en contact, M. Helmholtz a admis, à titre d'hypothèse, l'existence de part et d'autre de la surface de séparation de deux couches électriques en regard, l'une positive, l'autre négative.

Je fais remarquer dans cet article que cette *couche électrique double* est non une hypothèse, mais une conséquence nécessaire de l'existence de la différence de potentiel. Je montre, en effet, que d'après les lois de Coulomb il ne peut y avoir une différence de potentiel entre deux corps au contact sans couche électrique double et que, réciproquement, la présence d'une couche électrique double entraîne une différence de potentiel entre les deux conducteurs au contact.

**Formules fondamentales de l'électrodynamique.**

(*Journ. de Phys.*, 2e série, t. III, p. 117; 1884.)

On sait qu'Ampère a mis la force agissant entre deux éléments de courant sous la forme

$$f = ds\, ds' [f(r) \cos\theta \cos\theta' - F(r) \sin\theta \sin\theta' \cos\omega].$$

Ampère a imaginé pour déterminer $f(r)$ et $F(r)$ des expériences dont une au moins est presque impossible à réaliser et qui, par le fait, n'a jamais été réalisée. Depuis, plusieurs physiciens ou mathématiciens sont arrivés à faire disparaître cette difficulté. En particulier, M. Bertrand et M. Blanchet ne font aucune hypothèse *a priori* sur la forme des fonctions $f(r)$ et $F(r)$, et leurs méthodes présentent ainsi toute la rigueur désirable. Mais ces analyses, quoique fort élégantes, sont un peu trop longues et un peu trop difficiles pour l'enseignement élémentaire.

Ayant à traiter l'électrodynamique aux élèves de mathématiques spéciales, j'ai employé une marche simple, quoique parfaitement rigoureuse, pour déterminer $f(r)$ et $F(r)$. Cette méthode s'appuie sur des expériences faciles à réaliser avec une grande précision, et qui peuvent être faites dans un cours sous les yeux des élèves. Ces expériences ont du reste été exécutées.

(Je préviens le lecteur de l'article auquel je renvoie pour la description de cette méthode, que si j'ai employé la forme un peu lourde des dérivées et des fonctions primitives dans les calculs, c'est que les notions de différentielle et d'intégrale n'étaient pas encore introduites dans les programmes de mathématiques spéciales à l'époque où j'ai écrit cet article.)

L'appareil qui m'a servi à trouver $f(r)$ et $F(r)$ étant légèrement modifié permet aussi très facilement d'établir l'action d'un élément de courant sur un pôle magnétique, par une expérience susceptible de beaucoup plus de précision que celle de Biot et Savart, et par un calcul bien plus simple.

### Sur la cause de l'électrisation des nuages orageux.

(*Journ. de Phys.*, 2e série, t. IV, p. 18; 1885.)

(Ce mémoire a été complété dans le recueil de *Mémoires publiés par la Société Philomathique à l'occasion de son centenaire*, p. 91, 1888; les deux parties sont réunies dans les *Leçons sur l'électricité, faites à la Sorbonne en* 1888-89, p. 247.)

J'ai pu rendre compte de l'électrisation des nuages orageux, sans avoir recours aux hypothèses souvent très hasardées par lesquelles quelques auteurs ont essayé d'expliquer les orages, en invoquant simplement les phénomènes d'influence que la charge électrique du sol doit produire sur les nuages. Ces phénomènes d'influence, qui se produisent nécessairement, suffisent, comme je le montre par des nombres, à expliquer l'immense longueur des étincelles électriques qui constituent les éclairs, ainsi que l'énergie des coups de foudre. Enfin, cette explication fait voir que les phénomènes orageux ne peuvent se produire que quand l'air est agité par un tourbillon. (Ce complément ne se trouve pas dans le premier mémoire publié en 1885 à ce sujet.)

Voici un aperçu de cette explication:

On sait que par le beau temps le potentiel augmente quand on s'élève dans l'atmosphère à partir du sol, d'où l'on conclut que celui-ci est couvert d'une couche d'électricité négative. C'est presque toujours l'inverse par la pluie. Mais la moyenne annuelle des charges positives et négatives du sol en un même endroit est toujours une charge négative; suivant la remarque de Sir W. Thomson, la Terre est un globe électrisé négativement à sa surface. Plusieurs causes tendent à transporter une portion de cette électricité négative dans les couches d'air voisines du sol; mais celui-ci ne saurait perdre complètement sa charge négative, car la pluie a pour effet de ramener cette charge au sol, la pesanteur triomphant de la répulsion électrique.

Quand un nuage se forme dans un ciel primitivement serein, il est électrisé par l'influence de la charge du sol et par celle des couches d'air positivement en bas, négativement en haut. Si un tourbillon saisit ce nuage, la partie inférieure peut être détachée de la partie supérieure; à cause des mouvements verticaux des masses d'air qui accompagnent nécessairement le mouvement tourbillonnaire (si bien mis en évidence par les belles expériences de M. Wehyer), la partie inférieure du nuage monte, la partie supérieure descend, et les potentiels des deux parties séparées primitivement

égaux deviennent de plus en plus différents; si la somme des dénivellations des deux nuages est de 1 000 mètres, la différence de potentiel sera de 1 000 unités électrostatiques C. G. S. environ. C'est plus qu'il n'en faut pour qu'une immense étincelle éclate entre eux (la longueur de l'étincelle paraissant tendre vers l'infini pour une différence de potentiel finie, d'après les expériences de M. Mascart). En outre, la quantité d'électricité qui s'écoule dans une pareille décharge est colossale, comme le montre le calcul, et serait bien loin de pouvoir être obtenue en chargeant à refus les batteries électriques de tous les cabinets de physique.

Il va sans dire que si le nuage se forme au milieu d'autres nuages déjà électrisés le phénomène d'influence sera beaucoup plus compliqué que dans le cas simple que nous venons d'examiner; mais on conçoit bien que les effets seront du même ordre de grandeur.

On voit que s'il y a d'autres facteurs contribuant à la charge des nuages orageux le phénomène d'influence produit par le sol restera toujours un des facteurs principaux, puisqu'il s'impose et à lui seul suffit à tout expliquer.

Quant à cette charge négative du sol qui est la cause première non seulement des phénomènes orageux, mais de tous les autres phénomènes d'électricité atmosphérique, nous n'avons pas à nous demander ce qui l'a produite; car, si lors de sa formation la Terre a reçu un excès d'électricité négative, comme c'est un globe parfaitement isolé dans l'espace, elle ne saurait le perdre. Du reste, comme nous l'avons déjà dit, cette charge négative ne peut se dissiper entièrement dans l'atmosphère, à cause des pluies qui la ramènent constamment au sol.

Enfin, il est facile de voir qu'une couche d'électricité positive placée aux limites de l'atmosphère, à laquelle on a voulu faire jouer parfois un rôle dans les phénomènes d'électricité atmosphérique, ne saurait en fournir l'explication, car une couche électrique sphérique uniformément distribuée est sans action sur les corps placés à son intérieur. Au surplus, l'existence toute hypothétique d'une pareille couche est bien peu vraisemblable.

#### Sur la valeur de la pression électrique.

(*Bulletin de la Société Philomathique*, 7e série, t. V, p. 39; 1880.)

En me fondant sur le théorème de Gauss relatif au flux de forces à travers une surface fermée, je donne une démonstration rigoureuse de la for-

mule de Thomson ($\tau = 2\pi\mu^2$) qui lie la pression électrique ($\tau$) à la densité superficielle ($\mu$). Je considère l'épaisseur de la couche électrique répandue à la surface d'un conducteur comme finie (elle ne saurait être infiniment mince), mais je ne fais aucune hypothèse sur la distribution de l'électricité à l'intérieur de cette couche.

### Théorèms sur les écrans électriqnes.

(*Bulletin de la Société philomathique*, 7e série, t. V, p. 130; 1881.)

Le théorème dont je donne la démonstration est le suivant :

*Si une surface fermée est telle que le potentiel de tous ses points augmente ou diminue à la fois d'une même quantité* (a) (*de façon que la différence de potentiel de deux points reste constante*), *le potentiel de tout point situé à l'intérieur de la surface augmentera ou diminuera de la même quantité* (a) *et les phénomènes électriques qui peuvent se produire à l'intérieur de la surface sont complètement soustraits à l'influence des phénomènes extérieurs.*

Il en résulte immédiatement qu'une surface conductrice fermée homogène ou hétérogène est un écran électrique parfait pour les phénomènes d'équilibre électrique, puisque, dans l'état d'équilibre, la différence de potentiel de deux points de la surface reste toujours la même.

# APPAREILS

### Appareil pour effectuer la synthèse des couleurs composées.

(*Journ. de Phys.*, 1re série, t. VIII, p. 20 ; 1879.)

Cet appareil, que j'ai appelé *chromatoscope*, permet de mélanger en teinte plate les couleurs simples du spectre d'une source de lumière blanche, en prenant ces couleurs en proportions déterminées par une loi quelconque.

Il suffit pour cela de placer dans un spectre réel, que fournit l'appareil, un écran laissant passer de chaque couleur une hauteur proportionnelle à la quantité suivant laquelle cette couleur doit figurer dans le mélange.

Le principe de l'appareil est le même que celui de l'expérience par laquelle Newton a reconstitué la lumière blanche au moyen d'une lentille; mais il faut dans cette expérience prendre des précautions particulières si l'on veut que la teinte soit toujours plate, quelle que soit la manière dont les couleurs sont interceptées.

Au-devant de l'oculaire du chromatoscope, se trouve un prisme à réflexion totale qui permet de voir juxtaposée à la teinte plate, fournie par l'appareil, une autre teinte fournie par un appareil quelconque qu'on veut lui comparer; les deux teintes sont vues ainsi comme les deux parties d'une plaque de quartz à deux rotations.

Cet appareil a été construit par M. Lutz.

Outre les expériences rapportées à la page 18 , il m'a permis de vérifier que les formules de la polarisation chromatique ou rotatoire donnent bien les couleurs dans les proportions où elles existent en réalité: la teinte calculée et reproduite au moyen du chromatoscope est identique à la teinte fournie par l'appareil de Noremberg.

### Électrodynamomètre absolu. — Ampère-étalons.

*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CIII, p. 1189; 1886.—*Journ. de Phys.* 2e série, t. VI, p. 175; 1887.— *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. V, p. 195; 1888.)

La détermination de l'ohm et la réalisation d'étalons représentant cette grandeur ne suffisaient pas évidemment pour mesurer en valeur absolue

toutes les grandeurs concernant l'électricité. Il était indispensable d'avoir soit des étalons de force électromotrice déterminés en valeur absolue, soit des appareils donnant la valeur absolue de l'intensité d'un courant.

Après avoir étudié la question, je reconnus l'extrême difficulté d'obtenir des étalons de force électromotrice suffisamment constants, et la difficulté aussi grande d'en faire une bonne détermination sans avoir à mesurer en valeur absolue l'intensité d'un courant. C'est pourquoi je me suis décidé à faire construire un *électrodynamomètre absolu*, permettant la mesure directe des courants électriques en ampères.

Cet appareil est un électrodynamomètre-balance d'une disposition nouvelle et qui devait présenter plus de garantie d'exactitude que les électrodynamomètres-balances construits jusqu'alors. Il se compose d'une longue bobine fixe horizontale à l'intérieur de laquelle se trouve une bobine mobile à axe vertical portée par un fléau de balance. Le courant à mesurer passe dans les deux bobines, grâce à une disposition qui ne gêne nullement le mouvement de la bobine mobile; des poids placés dans le plateau que porte le fléau permettent de contre-balancer le couple électrodynamique qui tend à faire basculer ce fléau, et en fournit la mesure.

Le produit de la racine carrée de ces poids par une constante A donne la valeur absolue de l'intensité du courant. Cette constante A a été déterminée par des mesures de longueur exécutées sur l'appareil et qui n'entrent dans le calcul que par leur rapport. J'estime que l'erreur de la détermination de A ne s'élève pas à $\frac{1}{2\,000}$. Quant au poids qui compense l'action électrodynamique on l'obtient à moins de $\frac{1}{10\,000}$, grâce à la perfection des pointés faits au microscope.

On voit qu'un courant sera donné à $\frac{1}{2\,000}$ au moins en valeur absolue et à $\frac{1}{10\,000}$ en valeur relative. L'expérience a justifié ce dernier point. Quant à la précision absolue, la principale justification indirecte est l'accord à moins de $\frac{1}{1\,000}$ des nombres obtenus par M. Potier et moi pour l'équivalent électrochimique de l'argent avec les nombres obtenus séparément par Kohbransch et lord Rayleigh.

Cet appareil a été construit avec le plus grand soin par M. Carpentier.

J'ai fait faire par le même constructeur, sous le nom d'*ampère-étalons*, des copies de l'électrodynamomètre absolu qui ne diffèrent de cet instrument qu'en ce que la bobine fixe est beaucoup plus courte et que le fil forme plusieurs couches sur la bobine mobile. La constante A de ces ins-

truments est déterminée par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu; comme la comparaison se fait avec une extrême précision, et que les ampère-étalons ont une sensibilité même supérieure à celle de l'électrodynamomètre absolu, ils permettent d'obtenir l'intensité d'un courant avec la même précision que l'électrodynamomètre absolu lui-même.

Ces apparelis sont déjà assez répandus en France ; quelques-uns même ont été acquis par l'étranger. Ils servent actuellement de base à l'étalonnage des Ampèremètres et des Voltmètres au Laboratoire Central d'électricité.

Au moyen d'un de ces appareils et d'une résistance étalonnée on peut aisément mesurer en valeur absolue une force électromotrice par un procédé simple et très précis que j'ai décrit à propos de la détermination du $v$ de Maxwell (*Journ. de Phys.*, 2e sér., t. X, p. 391.) J'ai fait ainsi de nombreuses déterminations de forces électromotrices.

Pour être mesurés directement par l'électrodynamomètre absolu ou par un ampère-étalon, les courants doivent avoir une intensité comprise entre 0,1 et 0,5 d'ampère; mais indirectement, au moyen d'un Latimer-Clark étalonné par ces instruments, on peut mesurer en valeur absolue des courants d'intensité quelconque forts ou faibles, en renversant en quelque sorte la méthode qui sert à déterminer une force électromotrice.

Enfin, joint à une boussole des tangentes, un ampère-étalon peut fournir une mesure rapide et précise de la composante horizontale du magnétisme terrestre (H), la constante de la boussole des tangentes (d'une forme spéciale) étant déterminée par une simple comparaison avec la constante déjà connue de la grande bobine de l'électrodynamomètre absolu. (Cette méthode pour déterminer H n'est encore qu'à l'état de projet, mais elle ne paraît pas offrir de difficultés sérieuses; elle sera, je crois, bien préférable à la méthode de Gauss presque exclusivement employée actuellement.)

# OUVRAGES

**Cours de physique à l'usage des élèves de la classe de mathématiques spéciales.**
(2 vol. in-8°. P. Dupont, éditeur.)

**Cours de physique à l'usage des élèves de la classe de mathématiques élèmentaires.**

(1 vol. in-8°. P.Dupont, éditeur.)

Ces deux ouvrages ont eu principalement pour but d'introduire dans l'enseignement des lycées quelques-unes de ces notions récentes qui rendent de si grands services aux physiciens (énergie, potentiel, flux de forces, etc.). et de montrer qu'on pouvait le faire d'une façon élémentaire quoique rigoureuse.

**Leçons sur l'électricité faites à la Sorbonne en 1888-89.**

(1 vol. in-8°. G. Carré, éditeur.)

Dans ces leçons, je me suis attaché à mettre en relief le nombre relativement petit des connaissances concernant l'électricité, que nous ne pouvons acquérir que par l'expérience, et qui constituent les lois fondamentales; les autres connaissances importantes ont été déduites ensuite de ces lois fondamentales par le raisonnement, aidé le plus souvent de l'analyse mathèmatique; mais celle-ci a été rendue aussi simple qu'il m'a été possible de le faire sans compromettre la rigueur du raisonnement. Les vérifications expérimentales, toutes les fois qu'elles sont possibles, accompagnent toujours les déductions théoriques.

Tant qu'on conservera en physique la notion de force, il sera impossible d'expliquer les phénomènes électriques en ne tenant compte que des forces électriques obéissant aux lois de Coulomb. Outre ces forces (*électro-électriques*), il faut nécessairement introduire l'action qu'exerce la matiére pondérable sur l'électricité (forces *pondéro-électriques*). Si cette action

n'existait pas, nous ne pourrions ni conserver l'électricité sur un corps, ni même développer l'état d'électrisation. Je me suis attaché dans ces leçons à faire ressortir le rôle des forces pondéro-électriques, et j'ai dû pour plus de rigueur modifier l'énoncé et la démonstration de plusieurs théorèmes afin d'en tenir compte.

Outre les deux théorèmes indiqués plus haut (p. 25 et 26), il existe dans cet ouvrage quelques autres théorèmes nouveaux au moins par la forme de la démonstration (propriétés des lignes de force dans un milieu non électrisé, théorème de l'équilibre électrique, conditions pour qu'une fonction représente le potentiel, etc.).

**Les étalons électriques** (Rapport pour le Congrès international des électriciens de 1889).

**Publications diverses** dans le *Journal de Physique*, la *Revue scientifique*, etc.

Paris. — Société d'imprimerie PAUL DUPONT, 4, rue du Bouloi (Cl.) 1122.10.91.